

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-271700

(43)Date of publication of application : 08.10.1999

(51)Int.Cl.

G02F 1/09
H01S 3/10

(21)Application number : 10-071756

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 20.03.1998

(72)Inventor : NAGANUMA NORIHISA

(54) WAVELENGTH CHARACTERISTIC CONTROLLER, A GAIN EQUIVALENT UNIT, AND OPTICAL AMPLIFIER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To excellently perform variable control over wavelength characteristics even if changes are made owing to external factors such as environmental temperature by performing rotation control over a plane of polarization made incident on a polarization wavelength characteristic varying element and varying the ratio of P-polarized light and S-polarized light, and variably controlling the wavelength characteristics.

SOLUTION: The wavelength characteristic controller 10 which controls wavelength characteristics of polarized light Li (signal light) has the polarization wavelength characteristic varying element 11 and a polarization variable control means 12. Here, the polarization wavelength characteristic varying element 11 has wavelength characteristics having different variation in the transmissivity or reflection factor of the P-polarized light and S-polarized light. The polarization variable control means 12 performs rotation control over the plane of polarization of the polarized light Li made incident on the polarization wavelength characteristic varying element 11 to vary the ratio of the P-polarized light and S-polarized light, thereby controlling the wavelength characteristics variably. A wavelength plate, crystal, or Faraday rotator corresponds to the polarization variable control means 12. In case of the wavelength plate, this plate is rotated to variably control the wavelength characteristics.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 1 1 - 2 7 1 7 0 0

(43) 公開日 平成 11 年 (1999) 10 月 8 日

(51) Int. Cl. ⁶

G 0 2 F 1/09

H 0 1 S 3/10

識別記号

5 0 5

F I

G 0 2 F 1/09 5 0 5

H 0 1 S 3/10 Z

審査請求 未請求 請求項の数 2 8

O L

(全 1 4 頁)

(21) 出願番号 特願平 10-71756

(22) 出願日 平成 10 年 (1998) 3 月 20 日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

(72) 発明者 長沼 典久

北海道札幌市中央区北一条西 2 丁目 1 番地

富士通北海道デジタル・テクノロジー株式会社内

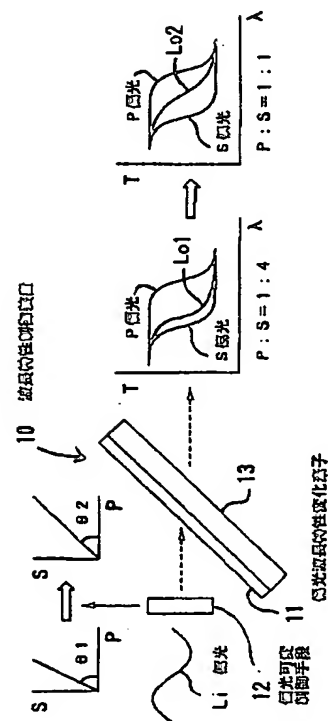
(74) 代理人 弁理士 服部 毅巖

(54) 【発明の名称】 波長特性制御装置、利得等価器及び光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 波長特性の可変制御を良好に行う波長特性制御装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 偏光波長特性変化素子 11 は、波長に対し、P 偏光と S 偏光の透過率または反射率の変化が異なる波長特性を持つ。偏光可変制御手段 12 は、偏光波長特性変化素子 11 に入射する偏光 L_i の偏光面を回転制御して、P 偏光と S 偏光の比率を変化させ、波長特性を可変に制御する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 偏光の波長特性を制御する波長特性制御装置において、

波長に対し、P 偏光と S 偏光の透過率または反射率の変化が異なる前記波長特性を持つ偏光波長特性変化素子と、

前記偏光波長特性変化素子に入射する前記偏光の偏光面を回転制御して、前記 P 偏光と前記 S 偏光の比率を変化させ、前記波長特性を可変に制御する偏光可変制御手段と、

を有することを特徴とする波長特性制御装置。

【請求項 2】 前記偏光波長特性変化素子は、誘電体多層膜であることを特徴とする請求項 1 記載の波長特性制御装置。

【請求項 3】 前記偏光波長特性変化素子は、ファイバ融着デバイスであることを特徴とする請求項 1 記載の波長特性制御装置。

【請求項 4】 前記偏光波長特性変化素子は、波長に対する透過率の変化率が大きい波長領域を、前記波長特性の波長領域として適用することを特徴とする請求項 1 記載の波長特性制御装置。

【請求項 5】 前記偏光可変制御手段は、ファイバループに応力を印加して前記波長特性を可変に制御することを特徴とする請求項 1 記載の波長特性制御装置。

【請求項 6】 前記偏光可変制御手段は、波長板であり、前記波長板を回転させて、前記波長特性を可変に制御することを特徴とする請求項 1 記載の波長特性制御装置。

【請求項 7】 前記偏光可変制御手段は、液晶であることを特徴とする請求項 1 記載の波長特性制御装置。

【請求項 8】 利得波長特性を能動的に等価する利得等価器において、

信号光の偏光分離を行う偏光分離手段と、

偏光分離された複数の偏光の偏光面を一致させて、第 1 の偏光を生成する偏光面一致制御手段と、

前記第 1 の偏光の偏光面を回転制御して、P 偏光と S 偏光との比率を変化させる偏光可変制御手段と、

変化した前記比率に対応する波長特性を持つ第 2 の偏光を生成する偏光波長特性変化素子と、

前記第 2 の偏光の偏光面を、前記第 1 の偏光の偏光面を回転制御する前記偏光可変制御手段とは逆回転に制御して、前記第 1 の偏光と同じ偏光状態に復帰させて第 3 の偏光を生成する偏光復帰手段と、

前記第 3 の偏光の偏光合成を行う偏光合成手段と、
を有することを特徴とする利得等価器。

【請求項 9】 前記偏光分離手段は、波長多重された前記信号光の偏光分離を行うことを特徴とする請求項 8 記載の利得等価器。

【請求項 10】 前記偏光分離手段は、複屈折結晶または誘電体多層膜であることを特徴とする請求項 8 記載の

利得等価器。

【請求項 11】 前記偏光面一致制御手段は、偏光分離された 1 つの偏光の偏光面を 90 度回転して、前記偏光面を一致させることを特徴とする請求項 8 記載の利得等価器。

【請求項 12】 前記偏光合成手段は、1 つの偏光の偏光面を 90 度回転した後、前記偏光を合成することを特徴とする請求項 8 記載の利得等価器。

【請求項 13】 前記偏光合成手段は、複屈折結晶または誘電体多層膜で構成されることを特徴とする請求項 8 記載の利得等価器。

【請求項 14】 前記偏光波長特性変化素子は、前記偏光が入射する角度を可変することを特徴とする請求項 8 記載の利得等価器。

【請求項 15】 前記偏光波長特性変化素子は、偏光分離された複数の偏光毎に対応して、複数設置することを特徴とする請求項 8 記載の利得等価器。

【請求項 16】 前記偏光波長特性変化素子は、互いに異なる波長特性を持つ複数の、多段に構成することを特徴とする請求項 8 記載の利得等価器。

【請求項 17】 前記偏光波長特性変化素子は、前記偏光波長特性変化素子に反射する反射光を前記第 2 の偏光とすることを特徴とする請求項 8 記載の利得等価器。

【請求項 18】 前記偏光可変制御手段は、フレアローテータで構成されることを特徴とする請求項 8 記載の利得等価器。

【請求項 19】 前記偏光可変制御手段は、前記フレアローテータへ与えられる印加磁界が変化することで、前記偏光面の回転制御を行うことを特徴とする請求項 18 記載の利得等価器。

【請求項 20】 前記印加磁界を制御する電気信号である波長特性制御信号を送信して、前記波長特性を制御する波長特性制御信号生成手段をさらに含むことを特徴とする請求項 19 記載の利得等価器。

【請求項 21】 前記波長特性制御信号生成手段は、前記信号光が与えられた光測定器からの測定結果である波長特性データにもとづいて、前記波長特性制御信号を生成することを特徴とする請求項 20 記載の利得等価器。

【請求項 22】 前記波長特性制御信号生成手段は、前記信号光を波長毎に電気信号に変換する光／電気変換器からの測定結果である波長特性データにもとづいて、前記波長特性制御信号を生成することを特徴とする請求項 20 記載の利得等価器。

【請求項 23】 前記偏光分離手段は、前記偏光によらず分岐比が一定で、かつ分岐比自体が可変な光分岐カプラであることを特徴とする請求項 8 記載の利得等価器。

【請求項 24】 前記偏光波長特性変化素子は、波長特性の異なる光学エレンメントであり、分岐された光をそれぞれ透過させることを特徴とする請求項 23 記載の利得等価器。

【請求項 25】 入力ファイバレンズと前記偏光分離手段の空間ビーム中ないし出力ファイバレンズとの間に、偏光無依存なアイソレータを配置したことを特徴とする請求項 8 記載の利得等価器。

【請求項 26】 入力ファイバレンズと前記偏光分離手段の空間ビーム中ないし出力ファイバレンズとの間に、光分岐を行う光分岐手段を配置したことを特徴とする請求項 8 記載の利得等価器。

【請求項 27】 入力ファイバレンズと前記偏光分離手段の空間ビーム中ないし出力ファイバレンズとの間に、波長多重を行う波長多重手段を配置したことを特徴とする請求項 8 記載の利得等価器。

【請求項 28】 信号光を増幅し、利得波長特性を能動的に等価する光増幅器において、前記信号光を増幅する増幅手段と、増幅された前記信号光の偏光分離を行う偏光分離手段と、偏光分離された複数の偏光の偏光面を一致させて、第 1 の偏光を生成する偏光面一致制御手段と、前記第 1 の偏光の偏光面を回転制御して、P 偏光と S 偏光との比率を変化させる偏光可変制御手段と、変化した前記比率に対応する波長特性を持つ第 2 の偏光を生成する偏光波長特性変化素子と、前記第 2 の偏光の偏光面を、前記第 1 の偏光の偏光面を回転制御する前記偏光可変制御手段とは逆回転に制御して、前記第 1 の偏光と同じ偏光状態に復帰させて第 3 の偏光を生成する偏光復帰手段と、前記第 3 の偏光の偏光合成を行う偏光合成手段と、を有することを特徴とする光増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は波長特性制御装置、利得等価器及び光増幅器に関し、特に偏光の波長特性を制御する波長特性制御装置、利得波長特性を能動的に等価する利得等価器及び信号光を増幅し利得波長特性を能動的に等価する光増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】近年の光通信ネットワークの普及にともない、さらなる長距離化、大容量化の要望に対応して光増幅器及び波長分割多重方式 (WDM: Wavelength Division Multiplex) が次世代の光通信技術として注目されている。

【0003】図 17 は従来の光増幅器の簡略構成を示す図である。光増幅器 200 は、EDF (Erbium-Doped Fiber) 201 と、Pump LD (励起レーザダイオード) 202 で構成される。

【0004】EDF 201 は、希土類元素の Er (エルビウム) が添加された光ファイバであり、Pump LD 202 からの励起光によって高い順位に電子が励起される。そして、光ファイバ中の Er 原子に信号光が入って

くと誘導放出が生じ、信号光のパワーが光ファイバに沿って次第に増幅される。

【0005】またこの場合、増幅する利得は波長特性を持っている。すなわち、信号光の波長によって利得が異なることになる。このため、WDM の光伝送システムに光増幅器をそのまま使用すると不都合なことが生じてしまう。

【0006】例えば、光増幅器 200 を WDM の伝送路上に複数段設けると、波長によって利得に差が生じ、受信不可能な S/N の信号が発生してしまい、全波長の伝送が正常にできなくなる。

【0007】したがって、従来では光増幅器 200 が接続された WDM 光伝送システムに対しては、利得を平坦化するための利得等価器が、光増幅器 200 に内蔵、または光増幅器 200 の数段毎に伝送路上設けられている。

【0008】図 18 は利得波長特性を示す図である。

(A) は複数の光増幅器 200 により累積された利得波長特性を示す図である。横軸に波長 λ 、縦軸に利得 G をとる。図のように波長 λ_1 、波長 λ_2 に対して、利得の差が ΔG あったとする。

【0009】(B) は利得等価器の損失波長特性を示す図である。横軸に波長 λ 、縦軸に損失利得 G をとる。図のような特性を持つ利得等価器を伝送路上に挿入する。

(C) は平坦化された利得波長特性を示す図である。横軸に波長 λ 、縦軸に利得 G をとる。図のように利得等価器が挿入された伝送路上の波長 λ_1 、波長 λ_2 間の通過帯域では、利得波長特性が平坦化する。

【0010】このように、通常多段に中継する光増幅器 200 には、利得波長特性に対し、逆の損失波長特性を持つ利得等価器を挿入して利得波長特性を平坦化している。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記で説明したような光増幅器 200 は、環境温度等の外部要因が変化すると動作点が変わってしまう。また、伝送路も外部条件によって伝搬特性が変わってしまう。

【0012】すると、光増幅器 200 への信号光の入力レベルが変動するので、出力レベルを一定にするために励起条件を変える必要がでてくる。すなわち、入力レベルが低下した場合は Pump LD 202 を強く光らせ、入力レベルが増加した場合は Pump LD 202 を弱く光らせなければならない。

【0013】ところが、EDF 201 に注入される励起光のパワーが変わると、光増幅器 200 の利得波長特性も変化してしまう。一方、利得等価器の損失波長特性はあらかじめ設定されており、利得波長特性の変化に合わせて、アクティブに変えることができない。

【0014】したがって、光増幅器 200 の動作点や伝送路の伝搬特性などが変わってしまうと、従来の利得等

価器では、変化する利得波長特性に追従できないため、高精度な利得等価が行うことができなかった。

【0015】このため、利得波長特性が平坦化されず、伝送品質を悪化させ、短距離の伝送しかできないといった問題があった。また、動作点などが変化しないようにするためには、伝送路のことも考慮しながら光増幅器200の動作条件を厳密に決めなければならない、設計上の制約が非常に大きくなり、フレキシビリティに欠けるといった問題があった。

【0016】本発明はこのような点に鑑みてなされたものであり、波長特性の可変制御を良好に行う波長特性制御装置を提供することを目的とする。また、本発明の他の目的は、高精度な利得等価を行って、伝送品質を向上させた利得等価器を提供することである。

【0017】さらに、本発明の他の目的は、信号光の増幅を行った後に、高精度な利得等価を行って、伝送品質を向上させた光増幅器を提供することである。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明では上記課題を解決するために、図1に示すような偏光Li（信号光）の波長特性を制御する波長特性制御装置10において、波長に対し、P偏光とS偏光の透過率または反射率の変化が異なる波長特性を持つ偏光波長特性変化素子11と、偏光波長特性変化素子11に入射する偏光Liの偏光面を回転制御して、P偏光とS偏光の比率を変化させ、波長特性を可変に制御する偏光可変制御手段12と、を有することを特徴とする波長特性制御装置10が提供される。

【0019】ここで、偏光波長特性変化素子11は、波長に対し、P偏光とS偏光の透過率または反射率の変化が異なる波長特性を持つ。偏光可変制御手段12は、偏光波長特性変化素子11に入射する偏光Liの偏光面を回転制御して、P偏光とS偏光の比率を変化させ、波長特性を可変に制御する。

【0020】また、図5に示すような利得波長特性を能動的に等価する利得等価器10aにおいて、信号光の偏光分離を行う偏光分離手段14と、偏光分離された複数の偏光の偏光面を一致させて、第1の偏光を生成する偏光面一致制御手段15と、第1の偏光の偏光面を回転制御して、P偏光とS偏光との比率を変化させる偏光可変制御手段12と、変化した比率に対応する波長特性を持つ第2の偏光を生成する偏光波長特性変化素子11と、第2の偏光の偏光面を、第1の偏光の偏光面を回転制御する偏光可変制御手段12とは逆回転に制御して、第1の偏光と同じ偏光状態に復帰させて第3の偏光を生成する偏光復帰手段17と、第3の偏光の偏光合成を行う偏光合成手段18と、を有することを特徴とする利得等価器10aが提供される。

【0021】ここで、偏光分離手段14は、利得波長特性が変化する信号光の偏光分離を行う。偏光面一致制御

手段15は、偏光分離された複数の偏光の偏光面を一致させて、第1の偏光を生成する。偏光可変制御手段12は、第1の偏光の偏光面を回転制御して、P偏光とS偏光との比率を変化させる。偏光波長特性変化素子11は、変化した比率に対応する波長特性を持つ第2の偏光を生成する。偏光復帰手段17は、第2の偏光の偏光面を、第1の偏光の偏光面を回転制御する偏光可変制御手段12とは逆回転に制御して、第1の偏光と同じ偏光状態に復帰させて第3の偏光を生成する。偏光合成手段18は、第3の偏光の偏光合成を行う。

【0022】さらに、図16に示すような信号光を増幅し、利得波長特性を能動的に等価する光増幅器20において、信号光を増幅する増幅手段21と、利得等価器10aと、を有することを特徴とする光増幅器20が提供される。

【0023】ここで、増幅手段21は、信号光を増幅する。増幅され、利得波長特性が変化した信号光は、利得等価器10aで利得等価される。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図1は本発明の波長特性制御装置の原理図である。波長特性制御装置10は、半導体レーザから出力された光ファイバ上を伝搬する偏光Li（信号光）の波長特性を制御する。

【0025】ここでの波長特性とは、波長に対する透過率のことを意味する。なお、反射率としても同様であるが、以降では透過率として説明する。偏光波長特性変化素子11は、水平偏光であるP偏光と、垂直偏光であるS偏光と、の透過率（または反射率）の変化が異なる波長特性を持つ光学エレメントである。図ではガラス基板13に偏光波長特性変化素子11が蒸着されている。

【0026】偏光波長特性変化素子11としては、例えば、誘電体からなる高屈折率及び低屈折率の薄膜を交互多層に重ね合わせた誘電体多層膜や、2本の光ファイバを融着して引きのばして分岐結合させることで、ある波長特性を持たせたファイバ融着デバイスなどに該当する。

【0027】偏光可変制御手段12は、偏光波長特性変化素子11に入射する偏光Liの偏光面を回転制御して、P偏光とS偏光の比率（透過比率）を変化させ、波長特性を可変に制御する。

【0028】図では、まず偏光Liの偏光面の角度 θ_1 に対して、P偏光とS偏光の比率が $P:S=1:4$ となる波長特性を持つ偏光Lo1が出力している。そして、偏光可変制御手段12で偏光面の回転制御を行って角度を θ_1 から θ_2 に変える。

【0029】すると、この場合はP偏光とS偏光の比率が $P:S=1:1$ となる波長特性を持つ偏光Lo2が出力する。なお、図中のTは透過率、 λ は波長である。このようにP偏光とS偏光の比率を変化させることで、波

長特性を可変に制御することができる。

【0030】また、偏光可変制御手段12としては、波長板や液晶、または後述のファラデーローテータなどが該当する。波長板の場合は、これを回転させることで波長特性を可変に制御することができる。また、ファイバループに応力を印加することで波長特性を制御してもよい。

【0031】図2はファイバ融着デバイスを使用した場合の波長特性制御装置10を示す図である。偏光波長特性変化素子11として、ファイバ融着デバイス11aを使用している。また、偏光可変制御手段12としては、ファイバループに応力を印加することで波長特性を制御する。

【0032】すなわち、図の1本から数本のファイバループに対し、これの捻り調整を行うことで偏光面を回転制御する。そして、所望の偏光状態になった偏光をファイバ融着デバイス11aに入射させる。このようにして波長特性を可変に制御することができる。

【0033】次に偏光波長特性変化素子11の波長特性について説明する。図3は偏光波長特性変化素子11の波長特性を示す図である。縦軸は透過率T(%)、横軸は波長λ(nm)である。

【0034】図に示すように、偏光波長特性変化素子11は、波長に対して一定の相関で透過率の増加、減少を起こす。ここでP偏光、S偏光によって波長特性に大きな差のあるもの、すなわちP偏光の透過率が20%から急激に100%に増加し、S偏光の透過率が0%に近い波長領域(波長領域A)、またはS偏光の透過率が90%近くから急激に40%まで減少し、P偏光の透過率がほとんど100%に近い波長領域(波長領域B)のいずれかを、波長特性制御装置10で利得等価したい波長領域として設定する。

【0035】なぜなら、多波長の信号帯域は、例えば0.8nm間隔に16波立てると、12nm程度の帯域となる。したがって、この非常に狭い帯域の中で波長特性を変えなければならないので、波長に対する透過率の変化率が大きい波長領域を選ぶ必要があるからである。

【0036】図4は波長領域Bを拡大した図である。この波長領域B内の波長を持つ信号光に対して、P偏光、S偏光の比率を変えて波長特性を可変に制御する。以上説明したように、本発明の波長特性制御装置10は、偏光波長特性変化素子11に入射する偏光面の回転制御を行って、P偏光とS偏光の比率を変化させ、波長特性を可変に制御する構成とした。

【0037】これにより、環境温度等の外部要因による変化が生じて、波長特性を良好に可変制御することが可能になる。また、本発明の波長特性制御装置10を上記で説明した利得等価器に適用することにより、光増幅器200の出力の利得波長特性が変化した場合でもアクティブに等価できるので、高精度な利得等価を行うこと

が可能になる。

【0038】次に波長特性制御装置10を適用した本発明の利得等価器について説明する。図5は本発明の利得等価器の原理図である。利得等価器10aは、入力する信号光の利得波長特性が変化した場合に、利得波長特性を能動的に等価する。なお、ここでの利得波長特性とは、波長に対する利得のことである。

【0039】偏光分離手段14は、利得波長特性が変化する波長多重された信号光の偏光分離を行う。すなわち、光増幅器から出力された利得波長特性が変化する信号光が入力し、この信号光を偏光分離する。偏光分離手段14は、複屈折結晶または誘電体多層膜などに該当する。

【0040】偏光面一致制御手段15は、偏光分離された複数の偏光の偏光面を一致させて、第1の偏光を生成する。図では、第1の偏光は利得波長特性g1を持っているものとする。

【0041】波長特性制御信号生成手段16は、波長特性を制御するための波長特性制御信号CNTを生成する。偏光可変制御手段12は、波長特性制御信号CNTにもとづき、第1の偏光の偏光面を回転制御して、利得波長特性g1とは逆の損失波長特性g2となるように、P偏光とS偏光との比率を変化させる。

【0042】ガラス基板13に蒸着している偏光波長特性変化素子11は、このように設定された比率を持つP偏光とS偏光に対応する波長特性で第1の偏光を透過させることにより、利得波長特性を平坦化させた(利得波長特性g3)第2の偏光を生成する。

【0043】偏光復帰手段17は、第2の偏光の偏光面を逆回転制御して、第1の偏光と同じ偏光状態に復帰させて第3の偏光を生成する。すなわち、偏光可変制御手段12に入射する前の第1の偏光の時の偏光面に戻す。

【0044】偏光合成手段18は、複数の分割されている第3の偏光の偏光合成を行って1つの光線にし、信号光として出力する。偏光合成の際には、1つの偏光の偏光面を90度回転した後、偏光合成する。また、偏光合成手段18は、複屈折結晶または誘電体多層膜などで構成される。

【0045】次に利得等価器10aの詳細構成及び動作について説明する。図6は利得等価器10aの詳細構成を示す図である。光増幅器内のEDFで増幅された多波長の光が伝搬する入力ファイバ1aは、フェルル2aに接着固定されている。

【0046】コリメートレンズ4aを固着したレンズホルダ3aは、入力ファイバ1aと焦点位置を調節後、フェルル2aに溶接固定される。また、コリメートレンズ4aの出射ビームは平行ビームで出射する。

【0047】ここで、光ファイバ中を伝搬してくる信号光の偏光は、直線偏光であったり、または楕円偏光や円偏光であったり、とランダムな偏光状態(任意偏光と呼

ぶ)である。したがって、偏光波長特性変化素子11に入射する前に偏光面を一致させる必要があるまず、偏光分離手段14に該当する平行ルチル板14で、任意偏光である信号光を常光と異常光に偏光分離する。

【0048】すなわち、平行ルチル板14の結晶軸X1を含む面に対して、任意偏光の振動方向が垂直なものを常光Orとして出射し、結晶軸X1を含む面に対して、任意偏光の振動方向が平行なものを異常光Exとして出射する。

【0049】偏光面一致制御手段15に該当する1/2波長板15は、常光側に設置されており(異常光側に設置しても構わない)、常光の偏光面を90度回転して、常光を異常光と同じ偏光面にさせる。

【0050】同一偏光面になった常光と異常光(第1の偏光)は、偏光可変制御手段12に該当するファラデーローテータ12aで所望の損失波長特性になるように偏光面を回転させられる。ただし、ここでの常光と異常光とは、結晶内部での常光と異常光を意味している。

【0051】ファラデーローテータ12aは、磁界中を進む光の偏光面を回転させるYIG(Yttrium Iron Garnet)結晶を用いた磁気光学効果を持つ偏光面回転エレメントである。

【0052】また、YIGには電磁石12b-1、12b-2で磁界H1が印加されている。そして、この磁界H1は、波長特性制御信号生成手段16からの波長特性制御信号CNTである電流Iにより制御できる。

【0053】したがって、この電流Iにより磁界H1を変えて、偏光面の回転量を制御する。また、ガラス基板13に蒸着している偏光波長特性変化素子11を図中の方向dのように機械的に回転させて、偏光の入射角度を可変にすることで、波長特性を微調整することもできる。

【0054】偏光波長特性変化素子11を通過して平坦化した常光と異常光(第2の偏光)は、偏光復帰手段17に該当するファラデーローテータ17aで、前置のファラデーローテータ12aで回転させられた偏光面を元の偏光面に復帰する方向に逆回転させられる。

【0055】この制御は、ファラデーローテータ12aと17aの長さを等しくし、電磁石17b-1、17b-2を図のように構成し、印加する磁界の方向が逆(図中H2)となるように電磁石の磁性を配置すればよい。

【0056】その後、異常光は、1/2波長板18bで今度は常光に回転させられ、偏光合成手段18に該当する平行ルチル板18aでもとの常光と結合される。ここで、平行ルチル板18aで常光と異常光の関係を逆転させて結合するのは、偏光分散を相殺してなくしてしまうためである。

【0057】そして、コリメートレンズ4bで出力ファイバ1bに出射される。なお、出力ファイバ1bは、フェルルール2bに接着固定されている。また、コリメート

レンズ4bを固着したレンズホルダ3bは、出力ファイバ1bと焦点位置を調節後、フェルルール2bに溶接固定されている。

【0058】次に偏光波長特性変化素子11の波長特性及び損失波長特性について説明する。図7は利得等価器10aの偏光波長特性変化素子11の波長特性を示す図である。縦軸に透過率T(%)、横軸に波長λ(nm)をとる。

【0059】波長に対する透過率の変化率が波長域1540nm~1600nmの領域で大きくなっている。したがって、この領域内で偏光面を回転させればよい。図では特性t1が、P:S=1:9であり、特性t2がP:S=2:8となっている。以下、図に示す通りである。

【0060】図8は損失波長特性を示す図である。縦軸に利得G(dB)、横軸に波長λ(nm)をとる。図7の特性t1~t9に対応して、図のような損失波長特性が得られる。

【0061】なお、上記の偏光波長特性変化素子11は、1個で構成したが、偏光分離された複数の偏光毎に対応して、複数個設置してもよい。また、互いに異なる波長特性を持つ複数の偏光波長特性変化素子を多段に設置してもよい。このようにすれば、より複雑な波長特性の制御を行うことができる。

【0062】さらに、上記では偏光波長特性変化素子11の通過光を合成して出力したが、反射光を合成して出力してもよい。図9は偏光波長特性変化素子11の反射光を合成して出力する利得等価器を示す図である。図に示すように利得等価器10bでは、波長特性制御された偏光波長特性変化素子11の反射光R1、R2を合成して出力する。なお、構成要素、動作は利得等価器10aと同様なので説明は省略する。

【0063】次に波長特性制御信号生成手段16を用いて、ファラデーローテータ12a、17aに与える印加磁界の制御について説明する。図10、図11は印加磁界制御を行う場合のシステム構成例を示す図である。

【0064】図10では、まず光増幅器200からの出力を光分岐カプラ300で分岐し、分岐された一方の信号光を利得等価器10aに入力する。そして、分岐された他方の信号光を光スペクトラムアナライザ400に入力する。

【0065】光スペクトラムアナライザ400は、回折格子やフォトダイオード等からなり、信号光の波長特性を測定し、その測定結果を波長測定データとして、利得等価器10a内部の波長特性制御信号生成手段16に送信する。

【0066】波長特性制御信号生成手段16では、波長測定データにもとづいて、波長特性制御信号CNTである電流量Iを決定し、印加磁界を制御する。図11では、光増幅器200からの出力を光分岐カプラ300で

分岐した後、さらに光分岐カプラ301a~301nで分岐する。

【0067】光分岐カプラ301a~301nで分岐された信号光は、光/電気変換器500a~500nで波長毎に電気信号に変換される。光/電気変換器500a~500nは、レンズ501、バンドパスフィルタ502a~502n、フォトダイオードPDで構成される。バンドパスフィルタ502a~502nは、設定された波長 $\lambda_a \sim \lambda_n$ のフィルタリング処理を行う。

【0068】そして、各波長毎にフォトダイオードPDで電気信号にされ、この出力である波長特性データが波長特性制御信号生成手段16に送信される。波長特性制御信号生成手段16では、波長特性データの電流差分値にもとづいて、波長特性制御信号CNTである電流量Iを決定し、印加磁界を制御する。

【0069】なお、上記の説明ではいずれも波長特性制御信号生成手段16を利得等価器10a内部に設けたが、利得等価器10aをドライブするためのドライブ装置として外部に設けてもよい。

【0070】次に分岐比可変カプラを用いて構成した利得等価器について説明する。図12は分岐比可変カプラで構成した利得等価器を示す図である。利得等価器10cは、偏光分離手段14の代わりに分岐比可変カプラ14-1を使用する。分岐比可変カプラ14-1は、印加された応力に対応して分岐比を決め、その分岐比で信号光を分岐する。

【0071】光学エレメント11b-1、11b-2は、レンズ及びバンドパスフィルタ等で構成されており、それぞれ異なる波長特性が設定されている。そして、分岐されたそれぞれの光に対し、設定された波長特性で透過させる。光路結合カプラ18-1は、透過した光を結合して出力する。

【0072】以上説明したように、本発明の利得等価器は、偏光波長特性変化素子11に入射する偏光面の回転制御を行って、利得波長特性とは逆の損失波長特性となる波長特性で、利得波長特性を平坦化させる構成とした。

【0073】これにより、光増幅器のEDFの動作条件により波長差が変化する利得を持つ多波長の信号光に対しても、変化に対応した損失波長特性が利得等価器により与えられるので、波長間差のない利得に修正されて伝送路へ送ることが可能になる。

【0074】次にアイソレータを挿入した利得等価器について説明する。図13はアイソレータを挿入した利得等価器を示す図である。利得等価器10dは、入力ファイバレンズと偏光分離手段14の空間ビーム中ないし出力ファイバレンズとの間に、偏光無依存なアイソレータを配置する。

【0075】例えば図では、アイソレータ19aは、入力ファイバレンズであるコリメートレンズ4aと、偏光

分離手段14に該当する平行ルチル板14と、の間に配置されている。

【0076】このようにアイソレータ19aを挿入することにより、光ファイバとの結合部や、光ファイバと光部品との接続部で発生する不要な反射波に対して、反射防止コートを行うことができる。

【0077】次に光分岐手段を挿入した利得等価器について説明する。図14は光分岐手段を挿入した利得等価器を示す図である。利得等価器10eは、入力ファイバレンズと偏光分離手段14の空間ビーム中ないし出力ファイバレンズとの間に、光分岐を行う光分岐手段を配置する。

【0078】例えば図では、光分岐手段はカプラ膜19bに該当し、入力ファイバレンズであるコリメートレンズ4aと、偏光分離手段14に該当する平行ルチル板14と、の間に配置されている。

【0079】そして、カプラ膜19bにはフォトダイオード19cが接続しており、分岐された光を電気信号に変換する。このようにカプラ膜19bを挿入することにより、利得等価器内部から光分岐させることができる。

【0080】次に波長多重手段を挿入した利得等価器について説明する。図15は波長多重手段を挿入した利得等価器を示す図である。利得等価器10fは、入力ファイバレンズと偏光分離手段14の空間ビーム中ないし出力ファイバレンズとの間に、波長多重を行う波長多重手段を配置する。

【0081】例えば図では、波長多重手段はWDM膜19dに該当し、入力ファイバレンズであるコリメートレンズ4aと、偏光分離手段14に該当する平行ルチル板14と、の間に配置されている。

【0082】そして、WDM膜19dは、光ファイバ1aからの光信号と、励起レーザ19e（利得等価器10fの外部にある）から光ファイバ1cを通じて入力する光信号と、の波長多重を行う。

【0083】なお、光ファイバ1cは、フェルルール2cに接着固定されており、コリメートレンズ4cを固着したレンズホルダ3cは、入力ファイバ1cと焦点位置を調節後、フェルルール2cに溶接固定される。

【0084】このようにWDM膜19dを挿入することにより、利得等価器内部で波長多重を行うことができる。次に利得等価器10aを内部に含む本発明の光増幅器について説明する。図16は本発明の光増幅器の原理図である。光増幅器20は、信号光を増幅し、利得波長特性を能動的に等価する。

【0085】増幅手段21は、入力された信号光を増幅する。利得等価器10aでは、増幅されて利得波長特性が変化した信号光の利得波長特性を制御する。以上説明したように、本発明の光増幅器20は、増幅後の信号光に対し、偏光波長特性変化素子に入射する偏光面の回転制御を行って、利得波長特性とは逆の損失波長特性とな

る波長特性で、利得波長特性を平坦化させる構成とした。

【0086】これにより、利得等価器を内蔵した光増幅器20により伝送中継を行うWDM光伝送システムでは、伝送路のロス変動などによる外部要因を含めた伝送帯域を保証でき、伝送品質の維持を確実に行うことが可能になる。

【0087】また、個別に調整設定を必要としない単一仕様の光増幅器20を使えるので、利得波長特性の平坦化を簡易に最適化でき、光増幅器20のコストを低減することが可能になる。

【0088】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の波長特性制御装置は、偏光波長特性変化素子に入射する偏光面の回転制御を行って、P偏光とS偏光の比率を変化させ、波長特性を可変に制御する構成とした。これにより、環境温度等の外部要因による変化が生じて、波長特性を良好に可変制御することが可能になる。

【0089】また、本発明の利得等価器は、偏光波長特性変化素子に入射する偏光面の回転制御を行って、利得波長特性とは逆の損失波長特性となる波長特性で、利得波長特性を平坦化させる構成とした。これにより、光増幅器から増幅された信号光の利得波長特性が変化した場合でも、アクティブに等価して利得波長特性を平坦化できるので、伝送品質の向上を図ることが可能になる。

【0090】さらに本発明の光増幅器は、増幅後の信号光に対し、偏光波長特性変化素子に入射する偏光面の回転制御を行って、利得波長特性とは逆の損失波長特性となる波長特性で、利得波長特性を平坦化させる構成とした。これにより、増幅した信号光の利得波長特性が変化した場合でも、アクティブに等価して利得波長特性を平坦化できるので、伝送品質の向上を図ることが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の波長特性制御装置の原理図である。

【図2】ファイバ融着デバイスを使用した場合の波長特性制御装置を示す図である。

【図3】偏光波長特性変化素子の波長特性を示す図である。

【図4】波長領域を拡大した図である。

【図5】本発明の利得等価器の原理図である。

【図6】利得等価器の詳細構成を示す図である。

【図7】利得等価器の偏光波長特性変化素子の波長特性を示す図である。

【図8】損失波長特性を示す図である。

【図9】偏光波長特性変化素子の反射光を合成して出力する利得等価器を示す図である。

【図10】印加磁界制御を行う場合のシステム構成例を示す図である。

【図11】印加磁界制御を行う場合のシステム構成例を示す図である。

【図12】分岐比可変カップラで構成した利得等価器を示す図である。

【図13】アイソレータを挿入した利得等価器を示す図である。

【図14】光分岐手段を挿入した利得等価器を示す図である。

【図15】波長多重手段を挿入した利得等価器を示す図である。

【図16】本発明の光増幅器の原理図である。

【図17】従来の光増幅器の簡略構成を示す図である。

【図18】利得波長特性を示す図である。(A)は複数の光増幅器により累積された利得波長特性を示す図である。(B)は利得等価器の損失波長特性を示す図である。(C)は平坦化された利得波長特性を示す図である。

【符号の説明】

10 波長特性制御装置

11 偏光波長特性変化素子

12 偏光可変制御手段

13 ガラス基板

Li 偏光

Lo1 P:S=1:4の比率を持つ偏光

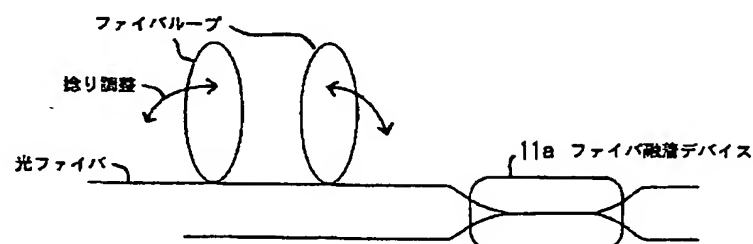
Lo2 P:S=1:1の比率を持つ偏光

$\theta 1$ 、 $\theta 2$ 偏光面入射角度

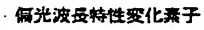
λ 波長

T 透過率

【図2】



波長特性制御装置



【図 4】

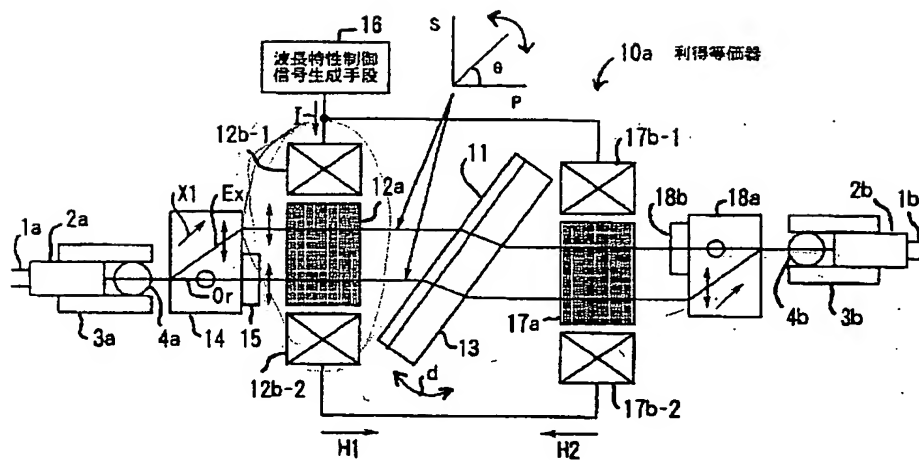


10a 利率等価性



A graph with G on the vertical axis and λ on the horizontal axis. The curve starts at a low value, rises steeply, then levels off into a plateau. At a certain point, it jumps up to a higher level and continues as a second plateau.

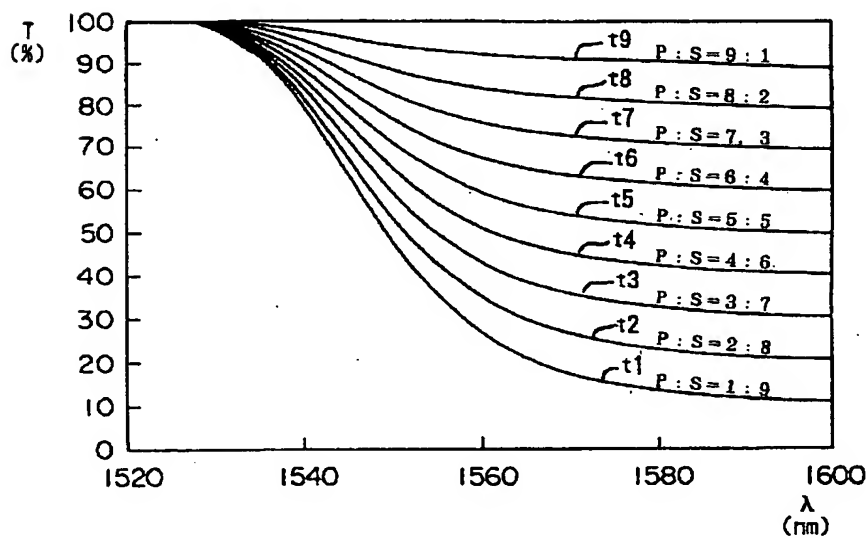
【図6】



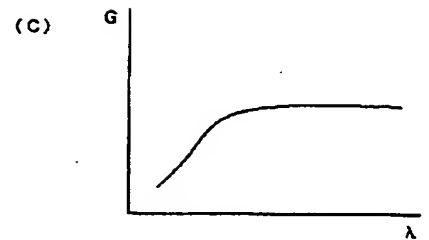
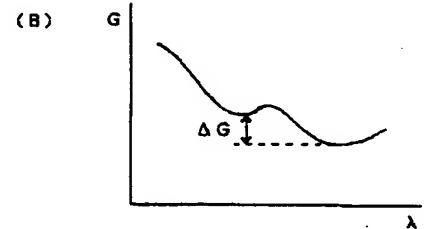
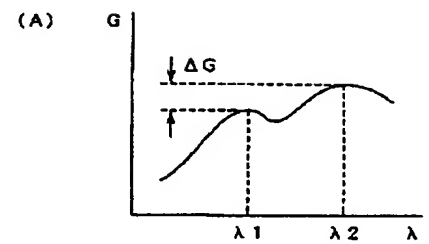
位相子を入板
直線偏光で回転

偏光状態は光子
の軸を回転。
円偏光、円偏光

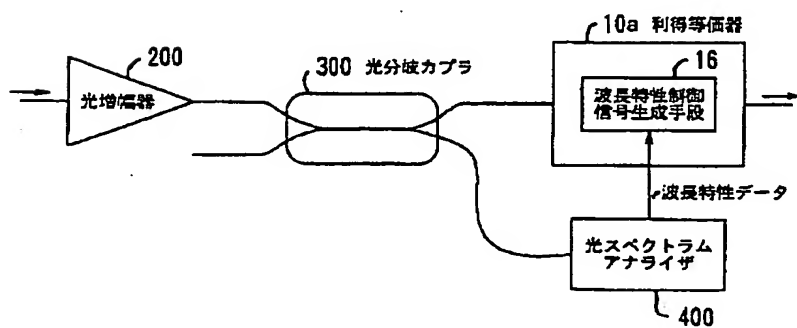
【図7】



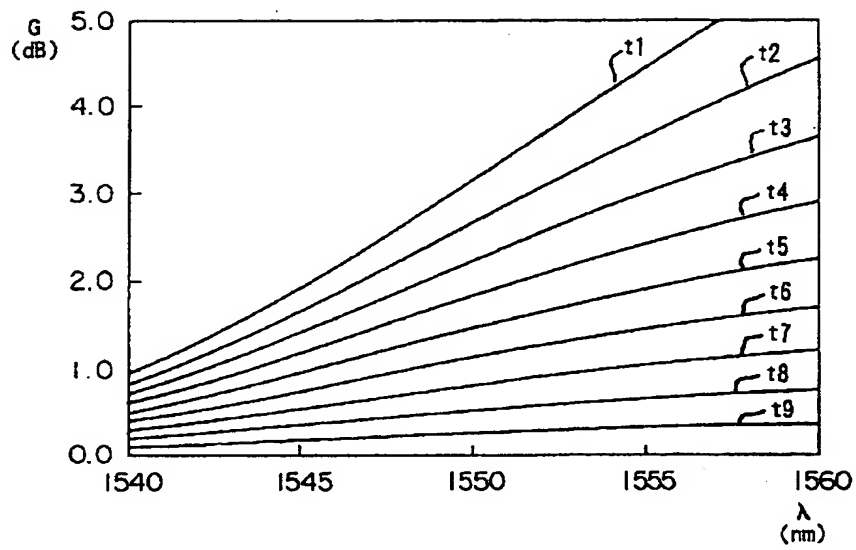
【図18】



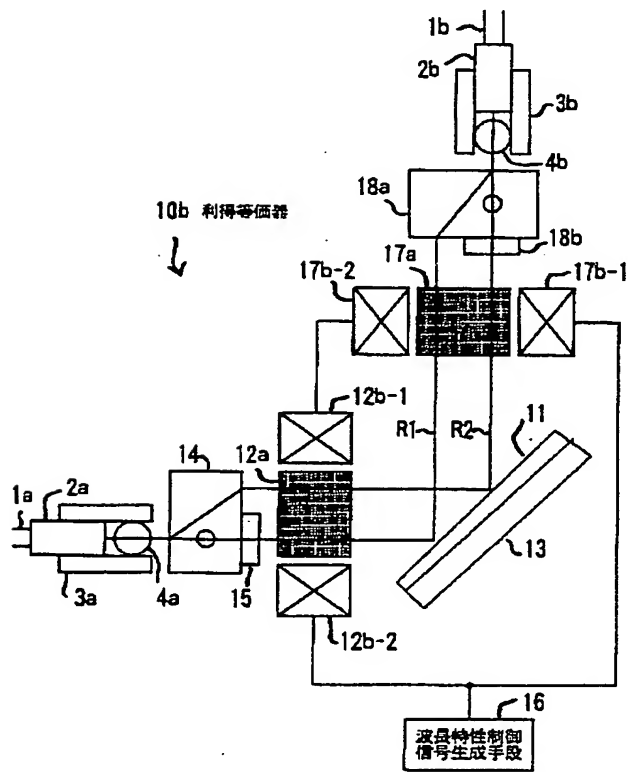
【図10】



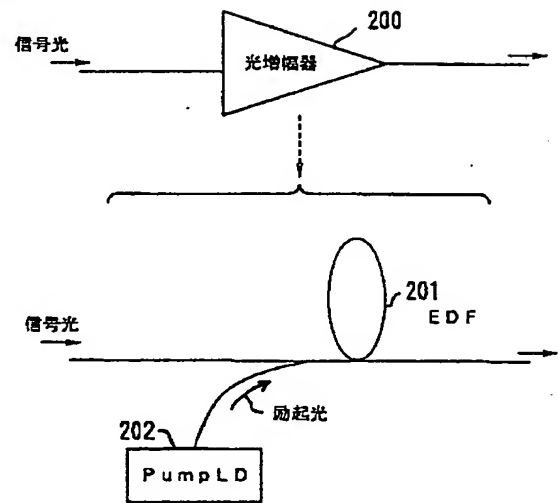
【図8】



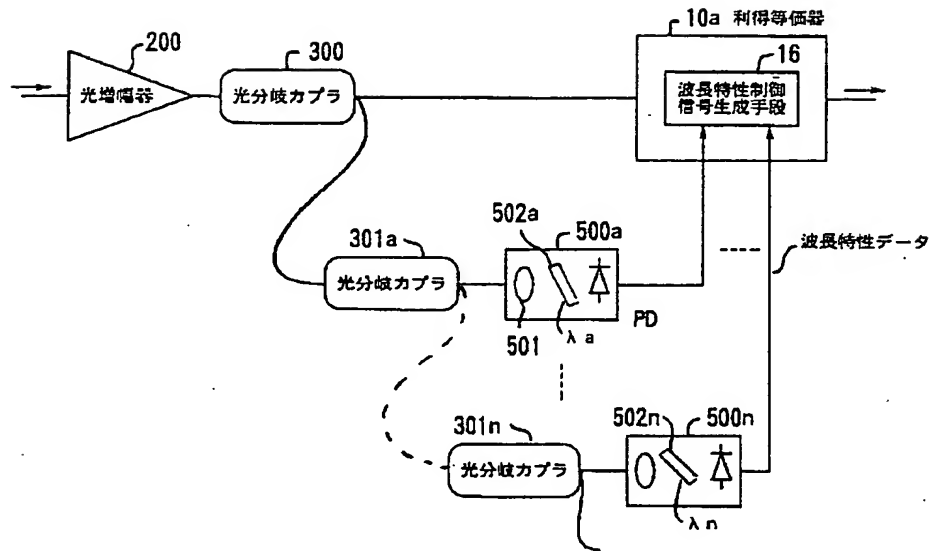
【図9】



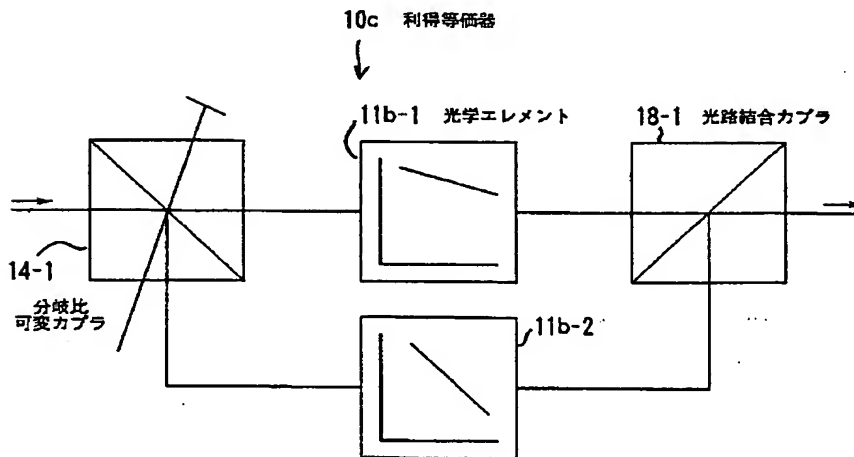
【図17】



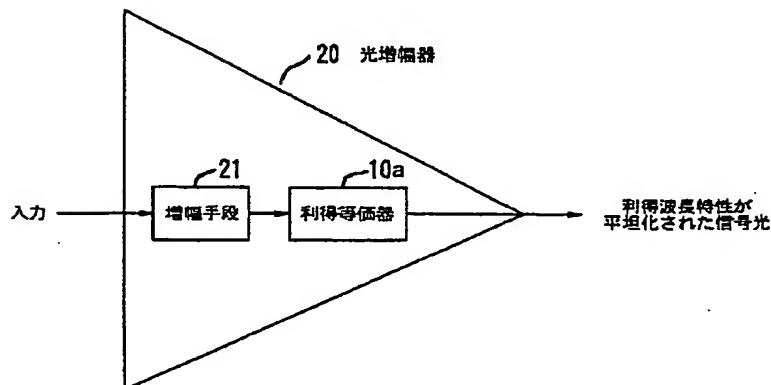
【図11】



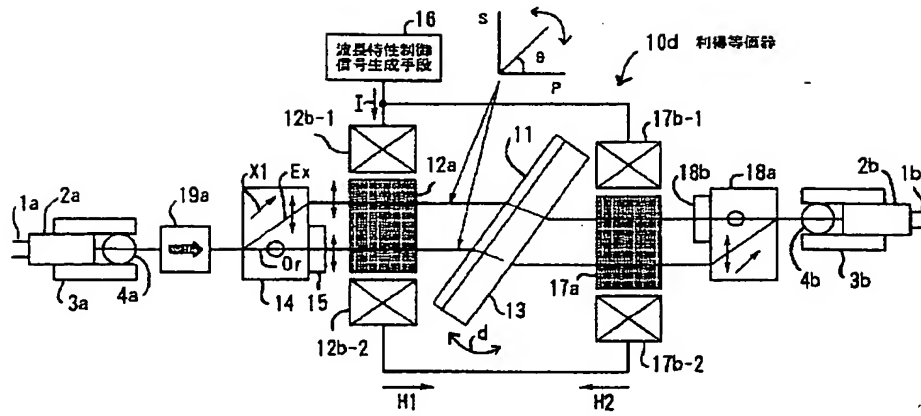
【図12】



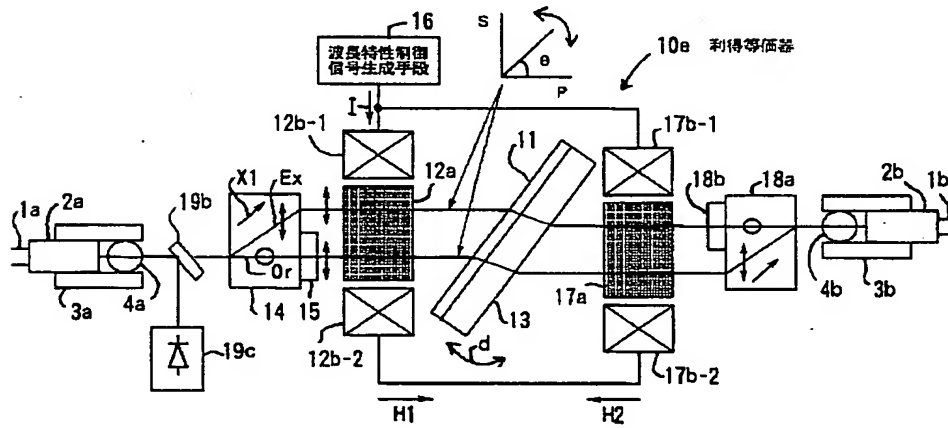
【図16】



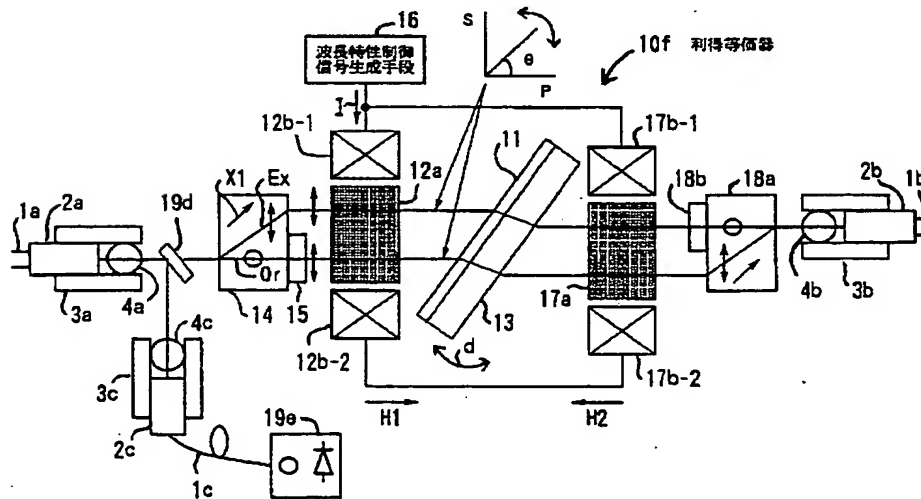
【図 13】



【図 14】



【図 15】



【手続補正書】

【提出日】平成 10 年 12 月 25 日

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項 25

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項 25】 入力ファイバレンズと前記偏光分離手段、入力ファイバレンズと出力ファイバレンズとの間に、偏光無依存なアイソレータを配置したことを特徴とする請求項 8 記載の利得等価器。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項 26

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項 26】 入力ファイバレンズと前記偏光分離手段、入力ファイバレンズと出力ファイバレンズとの間に、光分岐を行う光分岐手段を配置したことを特徴とする請求項 8 記載の利得等価器。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】請求項 27

【補正方法】変更

【補正内容】

【請求項 27】 入力ファイバレンズと前記偏光分離手段、入力ファイバレンズと出力ファイバレンズとの間に、波長多重を行う波長多重手段を配置したことを特徴とする請求項 8 記載の利得等価器。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0074

【補正方法】変更

【補正内容】

【0074】 次にアイソレータを挿入した利得等価器について説明する。図 13 はアイソレータを挿入した利得等価器を示す図である。利得等価器 10d は、入力ファイバレンズと偏光分離手段 14、入力ファイバレンズと出力ファイバレンズとの間に、偏光無依存なアイソレータを配置する。

【手続補正 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0077

【補正方法】変更

【補正内容】

【0077】 次に光分岐手段を挿入した利得等価器について説明する。図 14 は光分岐手段を挿入した利得等価器を示す図である。利得等価器 10d は、入力ファイバレンズと偏光分離手段 14、入力ファイバレンズと出力ファイバレンズとの間に、光分岐を行う光分岐手段を配置する。

【手続補正 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0080

【補正方法】変更

【補正内容】

【0080】 次に波長多重手段を挿入した利得等価器について説明する。図 15 は波長多重手段を挿入した利得等価器を示す図である。利得等価器 10f は、入力ファイバレンズと偏光分離手段 14、入力ファイバレンズと出力ファイバレンズとの間に、波長多重を行う波長多重手段を配置する。